大规格吉富罗非鱼幼鱼对饲料中胆碱的需要量

吴金平　刘　伟　蒋　明　文　华* 吴　凡　田　娟　杨长庚

（中国水产科学研究院，长江水产研究所，武汉 430223）

摘　要：本试验通过研究饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼生长性能、体成分、肝胰脏胆碱蓄积量及血清生化指标的影响，以确定大规格吉富罗非鱼幼鱼对饲料中胆碱的需要量。配制胆碱水平分别为 45.1、308.9、540.5、946.0、1 486.5 和 1 756.8 mg/kg 的 6 种试验饲料，饲喂初始体重为（57.4±2.5） g 的大规格吉富罗非鱼幼鱼 10 周。每种试验饲料随机饲喂 4 个网箱，每个网箱放养 20 尾鱼。结果显示：饲料胆碱水平≥308.9 mg/kg 时，试验鱼的增重率、饲料效率和蛋白质效率均显著高于饲料胆碱水平为 45.1 mg/kg 时($P<0.05$)；1 486.5 mg/kg 组试验鱼的肝体比和肥满度最大，显著大于 45.1 mg/kg 组($P<0.05$)。540.5 mg/kg 组试验鱼的脏体比最小，显著小于除 1 756.8 mg/kg 组外的其他各组($P<0.05$)。1 756.8 mg/kg 组全鱼粗脂肪含量显著低于 946.0 mg/kg 组($P<0.05$)。随饲料胆碱水平的增加，肝胰脏粗脂肪含量呈现先下降后稳定的趋势，而肌肉粗脂肪和粗蛋白质含量则呈现先上升后稳定的趋势。饲料胆碱水平≥946.0 mg/kg 时，试验鱼血清甘油三酯与总胆固醇含量显著高于 45.1 mg/kg 组($P<0.05$)；血清谷草转氨酶与谷丙转氨酶活力随饲料胆碱水平的增加呈现先下降后稳定的趋势，且均在 1 756.8 mg/kg 组最低；饲料胆碱水平对试验鱼血清总蛋白与葡萄糖含量无显著影响($P>0.05$)。肝胰脏胆碱蓄积量随饲料胆碱水平的增加呈现先上升后稳定的趋势。通过折线回归分析，以增重率为评价指标，大规格吉富罗非鱼幼鱼获得最佳生长时对饲料中胆碱的需要量为 625.42 mg/kg；以肝胰脏胆碱蓄积量为评价指标，大规格吉富罗非鱼幼鱼获得最大肝胰脏胆碱蓄积量时对饲料中胆碱的需要量为 1 118.61 mg/kg。

关键词：大规格；吉富罗非鱼幼鱼；胆碱；生长性能；需要量

中图分类号：S963　　文献标识码：　　文章编号：

胆碱是维持水生动物正常生长所必需的一种维生素，它不仅是机体的组成成分，而且还参与到某些物质的代谢过程中。胆碱作为甲基供体，影响甜菜碱与蛋氨酸的代谢；作为卵磷脂的主要成分, 促进肝脏中脂肪的转运与

收稿日期：2015-07-24
基金项目：现代农业产业技术体系专项资金资助项目（CARS-49）；2010 年公益性行业（农业）科研专项经费（201003020）
作者简介：吴金平（1989-），男，湖北武汉人，硕士研究生，从事水产动物营养与饲料。E-mail: 610654205@qq.com
*通信作者：文　华，研究员，硕士生导师，E-mail: wenhua.hb@163.com

利用[1]。研究表明，鱼类摄食缺乏胆碱的饲料会产生缺乏症状，例如：杂交鲈（*Monronesaxatilis*×*M. chrysops*）[2]和斑点叉尾鮰（*Ictalurus punctatus*）[3]肝脏脂肪过度沉积；鲤（*Cyprinus carpio*）[4]和金鲈（*Perca flavescens*）[5]幼鱼生长受到抑制；湖鳟（*Salvelinus namaycush*）饲料效率降低、生长受阻、肝脏脂肪沉积等[6]。

罗非鱼因其具有生长速度快、食性杂与抗病力强等优点，已成为我国南方地区养殖的一种主要淡水鱼品种[7]。目前有关罗非鱼胆碱需要量的研究主要集中在 1～50 g 的小规格幼鱼[8]或成鱼阶段，且结果差异较大。研究发现，0.56～3.40 g 罗非鱼幼鱼的胆碱需要量为 1 000～3 000 mg/kg[9-11]，220 g 罗非鱼成鱼的胆碱需要量为 506.43～981.38 mg/kg[12]。体重＞50 g 的大规格罗非鱼幼鱼，生长速度快，饲料消耗多，对营养素的需要量大，因而对胆碱的需要量可能已经发生了变化。吉富罗非鱼（GIFT，*Oreochromisniloticus*）是通过对 4 个非洲原种品系尼罗罗非鱼和 4 个亚洲品系尼罗罗非鱼进行种内杂交选育而成的[13]，经过多年选育，其生长速度较其他品系的尼罗罗非鱼可提高 5%～30%[14]，是目前我国罗非鱼养殖中最主要的品系。因此，本试验通过在饲料中梯度添加胆碱，研究胆碱对初始体重为（57.4±2.5） g 的吉富罗非鱼幼鱼生长性能、体成分和血清生化指标的影响，来确定大规格吉富罗非鱼幼鱼对饲料中胆碱的需要量，旨在为罗非鱼饲料的配制提供理论依据，从而节约饲料生产成本。

1　材料与方法

1.1　试验饲料

以酪蛋白、明胶为蛋白质源，混合油脂[*m*(豆油)∶*m*(玉米油)=1∶1]为脂肪源，糊精为糖源配制基础饲料，其组成及营养水平见表 1。以氯化胆碱为胆碱源，在基础饲料的基础上分别添加 0、300、600、1 200、1 800、2 400 mg/kg 的氯化胆碱，配制 6 种试验饲料。6 种试验饲料胆碱水平实测值分别为 45.1、308.9、540.5、946.0、1 486.5、1 756.8 mg/kg。所有原料经粉碎后过 60 目分级筛，然后混匀。最后加豆油、玉米油和 20%的水混匀，用绞肉机将饲料原料挤压呈条状，常温条件下避光风干，破碎成直径为 2mm 的颗粒饲料。

表1　基础饲料组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
酪蛋白 Casein	30.00

明胶 Gelatin	7.50
糊精 Dextrin	38.00
玉米油 Corn oil	4.00
豆油 Soybean oil	4.00
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	1.00
矿物盐预混料 Mineral premix[2)]	2.00
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	2.00
丙酸钠 Sodium propionate	0.10
抗氧化剂 Antioxidant	0.01
微晶纤维素 Microcrystallinecellulose	11.39
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]	
粗蛋白质 Crude protein	29.25
粗脂肪 Crude lipid	6.33

水分 Moisture	9.77
粗灰分 Ash	2.69

[1)]维生素预混料为每千克饲料提供Vitamin premix provided the following per kg of the diet:VB_1 5 g，VB_2 10 g，泛酸钙 calcium pantothenate 10 g，*D*−生物素 *D*-biotin 0.6 g，VB_6 4 g，叶酸 folic acid 1.5 g，肌醇 inositol200 g，*L*-抗坏血酸-2-磷酸镁 magnesium *L*-ascorbic acid-2-monophosphate 60 g，烟酸 niacin6.05 g，α-生育酚醋酸酯 α-tocopheryl acetate 50 g，VK 4 g，VA 2 000 IU，VD_3 400 IU。

[2)]矿物盐预混料为每千克饲料提供Mineral premix provided the following per kg of the diet:$Ca(CH_3CHOHCOO)_2{\cdot}5H_2O$ 327 g，$FeSO_4{\cdot}6H_2O$ 2.125 g，$MgSO_4{\cdot}7H_2O$ 137 g，NaH_2PO_4 87.2 g，NaCl 43.5 g，$AlCl_3{\cdot}6H_2O$ 0.15 g，KI 0.15 g，KCl 75 g，$CuCl_2{\cdot}2H_2O$ 0.1 g，$MnSO_4{\cdot}H_2O$ 0.80 g，$CoCl_2{\cdot}6H_2O$ 1 g，$ZnSO_4{\cdot}7H_2O$ 3 g。

[3)]营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.2　试验用鱼与饲养管理

试验所用吉富罗非鱼鱼苗购自广西罗非鱼国家级育种试验场，鱼苗购回后放入网箱中暂养至试验所需规格，在正式试验开始前，用不含胆碱的基础饲料喂养 2 周。试验鱼分组前，鱼体饥饿 24 h，然后挑选体格健壮且规格大小一致的 480 尾吉富罗非鱼，平均体重为（57.4±2.5） g，养殖于 24 个 1.0 m×1.0 m×1.5 m 的网箱中，每个网箱放养 20 尾鱼。将 24 个网箱随机分为 6 组，每种试验饲料投喂 4 个网箱。饲养期为 10 周，时间为 2014 年 7 月至 2014 年 10 月。养殖期间水温为 26.5～30.9 ℃，pH 为 7.2～8.0，溶氧浓度>5 mg/L，氨氮浓度<1 mg/L，亚硝酸盐浓度<0.1 mg/L。每天投食 2 次（06:00、18:00），表观饱食投喂，并根据鱼体生长、摄食情况和水温等环境条件及时调整投喂量，且每天记录鱼摄食及死亡情况。

1.3　样品采集

养殖试验结束后，禁食 24 h，以网箱为单位进行称重，计算增重率（weight gain rate，WGR）和成活率（survival rate，SR）。从每个网箱中随机取 3 尾鱼，用于全鱼常规营养成分的测定。另外，随机从每个网箱取 2 尾鱼用 MS-222 麻醉后测定体长和体重，然后尾静脉采血。血液静置 3 h 后，4 ℃离心（3 000 r/min，10 min），取上清于-40 ℃冰箱保存。采血后分离肝胰脏、内脏，并分别对肝胰脏、内脏称重，接着取背肌。采完样后，所有样品

存储在-40 ℃冰箱以备后续分析。

1.4 指标测定

根据以下公式，计算试验鱼的增重率、成活率、饲料效率（feed efficiency，FE）、脏体比（viscerosomatic index，VSI）、肝体比（hepatosomatic index，HSI）、肥满度（condition factor，CF）。

$$增重率（\%）=[（W_1-W_0）/W_0]\times100；$$

$$成活率（\%）=(S_1/S_0)\times100；$$

$$饲料效率=W_z/F_z；$$

$$蛋白质效率（\%）=[W_z/（F_z\times P）]\times100；$$

$$脏体比（\%）=(W_V/W)\times100；$$

$$肝体比（\%）=(W_H/W)\times100；$$

$$肥满度（g/cm^3）=(W/L^3)\times100。$$

式中：W_1 为每个网箱试验鱼终末体重（g），W_0 为每个网箱试验鱼初始体重（g）；S_1 为终末尾数；S_0 为初始尾数；W_z 为每个网箱最终所增加的鱼体总重（g）；F_z 为每个网箱在整个养殖期间所投喂饲料的总重（g）；P 为饲料蛋白质水平（%）；W_V 为采样鱼的内脏重（g）；W 为采样鱼的体重（g）；W_H 为采样鱼的肝胰脏重（g）；L 为采样鱼的体长（cm）。

饲料、全鱼、肌肉及肝胰脏的粗蛋白质、粗脂肪与粗灰分含量分别采用凯氏定氮法、索氏抽提法和马福炉灰化法测定。全鱼和饲料水分含量采用103 ℃恒温干燥失重法测定；肌肉和肝胰脏水分含量采用冷冻干燥法测定。饲料胆碱水平与肝胰脏胆碱蓄积量的测定参照文献[15]。血清甘油三酯（triglyceride，TG）、总胆固醇（total cholesterol，T-CHO）、葡萄糖（glucose，GLU）、总蛋白（total protein，TP）含量及谷草转氨酶（aspartate transaminase，AST）、谷丙转氨酶（alanine aminotransferase，ALT）活力均采用希森美康全自动生化分析仪进行测定（CHEMIX-800）。

1.5 数据处理

试验数据采用统计软件SPSS 18.0中的单因素方差分析(one-way ANOVA)和Duncan氏均值多重比较法进行差异显著性分析，所有数据均以平均值±标准误（mean±SE）表示，$P<0.05$为差异显著。采用折线分析法，确定大规格吉富罗非鱼幼鱼对饲料中胆碱的需要量。

2 结果

2.1 饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼生长性能的影响

由表 2 可知，饲料胆碱水平对试验鱼的成活率无显著影响（P＞0.05），各组成活率均为 100%。随饲料胆碱水平的提高，试验鱼的增重率呈先上升后保持稳定的趋势，饲料中胆碱水平≥308.9 mg/kg 时，试验鱼的增重率显著高于 45.1 mg/kg 组（P＜0.05），饲料中胆碱水平为 540.5、946.0、1486.5 和 1 756.8 mg/kg 时，试验鱼的增重率各组之间差异不显著（P＞0.05）。1 756.8 mg/kg 组饲料效率最高，显著高于 45.1 mg/kg 组（P＜0.05），但与 308.9、540.5、946.0 和 1486.5mg/kg 组差异不显著（P＞0.05）。1 486.5 mg/kg 组试验鱼肥满度显著大于 45.1、308.9、540.5 和 946.0 mg/kg 组（P＜0.05），但与 1 756.8 mg/kg 组差异不显著（P＞0.05），45.1、308.9、540.5、946.0 mg/kg 组之间差异也不显著（P＞0.05）。45.1 mg/kg 组脏体比显著大于 540.5、1 756.8 mg/kg 组（P＜0.05），而与 308.9、946.0 和 1 486.5 mg/kg 组差异不显著（P＞0.05）；308.9 mg/kg 组脏体比显著大于 540.5 mg/kg 组（P＜0.05），与其余各组之间差异不显著（P＞0.05）。经折线模型回归分析，饲料胆碱水平（X）与大规格吉富罗非鱼幼鱼增重率(Y)的关系为 Y=0.088 9X+250.46（R^2=0.96），得出大规格吉富罗非鱼幼鱼获得最佳生长时对饲料胆碱的需要量为 625.42 mg/kg(图 1)。

表2 饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary choline level on growth performance of large size juvenile GIFT （*Oreochromisniloticus*）

项目 Items	饲料胆碱水平 Dietary choline level/(mg/kg)					
	45.1	308.9	540.5	946.0	1 486.5	1 756.8
初始体重 IBW/g	58.25±2.90	56.63±2.29	57.75±2.50	56.88±2.87	57.50±3.08	57.50±1.47
终末体重 FBW/g	207.47±3.67^{a}	211.88±6.52^{ab}	231.21±7.79^{c}	233.45±4.56^{b}	235.20±5.53^{b}	232.50±6.86^{ab}
增重率 WGR/%	256.14±6.75^{a}	274.08±7.29^{b}	300.45±8.33^{c}	310.61±9.04^{c}	308.96±6.55^{c}	304.23±7.88^{c}
饲料效率 FE	0.86±0.06^{a}	1.08±0.06^{b}	1.09±0.03^{b}	1.00±0.06^{b}	1.08±0.07^{b}	1.12±0.03^{b}
蛋白质效率 PER/%	2.21±0.07^{a}	2.43±0.02^{b}	2.45±0.06^{b}	2.48±0.10^{b}	2.51±0.20^{b}	2.41±0.11^{b}
脏体比VSI/%	9.40±0.23^{a}	9.01±0.65^{ab}	8.25±0.31^{c}	8.98±0.62^{ab}	9.01±0.50^{ab}	8.68±0.21^{bc}
肝体比 HSI/%	1.92±0.15^{a}	2.59±0.21^{c}	2.06±0.13^{a}	2.12±0.16^{ab}	2.35±0.19^{bc}	1.92±0.16^{a}
肥满度 CF/(g/cm^3)	3.80±0.28^{ab}	3.74±0.41^{ab}	3.65±0.26^{a}	3.65±0.23^{a}	4.42±0.28^{c}	4.18±0.33^{bc}
成活率SR/%	100	100	100	100	100	100

同行数据肩标不同小写字母代表有显著性差异（P＜0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significantly different（P＜0.05). The same as

below.

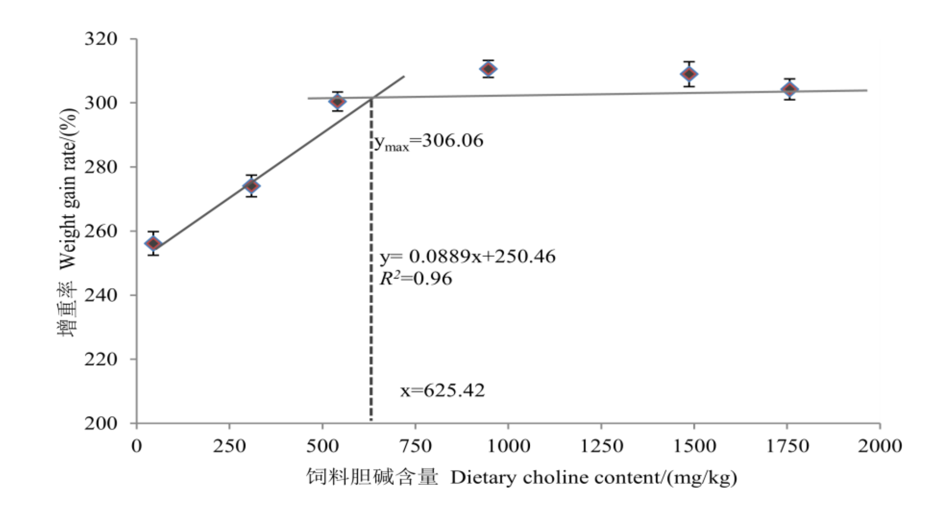


图 1 饲料胆碱水平与大规格吉富罗非鱼幼鱼增重率的关系

Fig.1 Relationship between dietary choline level and WGR of large size juvenile GIFT （*Oreochromisniloticus*）

2.2 饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼全鱼、肌肉与肝胰脏常规营养成分的影响

饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼全鱼、肌肉与肝胰脏常规营养成分的影响见表3。全鱼粗蛋白质、粗灰分含量各组间无显著差异（*P*＞0.05）；1 756.8 mg/kg组全鱼粗脂肪含量显著低于946.0 mg/kg组（*P*＜0.05），而与45.1、308.9、540.5、1 486.5 mg/kg组差异不显著（*P*＞0.05）；946.0 mg/kg组全鱼水分含量显著低于45.1 mg/kg组（*P*＜0.05），而与308.9、540.5、1 486.5、1 756.8 mg/kg组无显著差异（*P*＞0.05）。肝胰脏水分、粗蛋白质含量各组间差异不显著（*P*＞0.05）；肝胰脏粗脂肪含量随饲料胆碱水平的增加呈现先下降后稳定的趋势，45.1 mg/kg组粗脂肪含量显著高于540.5、946.0、1 486.5、1 756.8 mg/kg组（*P*＜0.05），而与308.9 mg/kg组之间无显著差异（*P*＞0.05）。肌肉水分含量各组之间差异不显著（*P*＞0.05）；肌肉粗脂肪含量随饲料胆碱水平的增加呈现先上升后保持稳定的趋势，1 756.8 mg/kg组显著高于45.1、308.9 mg/kg组（*P*＜0.05），而与540.5、946.0、1 486.5 mg/kg组差异不显著（*P*＞0.05）；肌肉粗蛋白质含量随饲料中胆碱水平的增加与肌肉粗脂肪含量呈现出相同的变化趋势，以540.5 mg/kg组粗蛋白质含量最高，显著高于45.1 mg/kg组（*P*＜0.05），与其余各组无显著差异（*P*＞0.05）。

表 3 饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼全鱼、肝胰脏和肌肉常规成分的影响

Table 3 Effects of dietary choline level on proximate composition in whole body, hepatopancreas and muscle of large size juvenile GIFT （*Oreochromisniloticus*） %

项目	饲料胆碱水平Dietary choline level/(mg/kg)

Items	45.1	308.9	540.5	946.0	1 486.5	1 756.8
全鱼 Whole body						
水分 Moisture	70.78±0.72^{b}	69.12±0.61^{ab}	68.93±0.06^{ab}	67.92±1.84^{a}	68.79±0.64^{ab}	68.89±1.60^{ab}
粗脂肪 Crude lipid	10.80±0.18^{ab}	10.03±0.67^{ab}	10.38±0.24^{ab}	11.27±1.87^{b}	10.31±0.36^{ab}	9.87±1.02^{a}
粗蛋白质 Crude protein	15.17±0.32	15.78±0.82	15.91±0.28	16.28±0.53	15.86±0.61	15.92±1.56
粗灰分 Ash	3.72±0.26	3.31±0.28	3.34±.0.18	3.47±0.30	3.48.±0.26	3.76.±0.39
肝胰脏 Hepatopancreas						
水分 Moisture	63.96±1.71	63.67±1.03	63.08±2.79	64.09±1.73	64.7±1.35	64.58±4.81
粗脂肪 Crude lipid	9.71±0.12^{a}	9.05±0.35^{ab}	8.66±0.40^{b}	8.48±0.49^{b}	8.24±0.49^{b}	8.34±0.03^{b}
粗蛋白质 Crude protein	10.98±1.19	10.32±0.25	10.8±0.91	10.66±0.80	9.75±0.51	10.32±0.06
肌肉 Muscle						
水分 Moisture	75.34±0.33	76.07±0.53	75.8±1.25	75.84±0.47	75.74±0.49	75.86±0.33
粗脂肪 Crude lipid	1.39±0.22^{a}	1.66±0.32^{ab}	1.75±0.16^{bc}	2.04±0.08^{c}	1.99±0.33^{bc}	2.04±0.22^{c}
粗蛋白质Crude protein	18.88±0.96^{a}	19.69±0.27^{ab}	20.21±0.25^{b}	19.18±0.36^{ab}	19.58±0.30^{ab}	19.55±0.76^{b}

2.3 饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼血清生化指标及肝胰脏胆碱蓄积量的影响

饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼血清生化指标的影响见表 4。饲料胆碱水平对罗非鱼血清 TP、GLU 含量无显著影响（P＞0.05）。血清 AST、ALT 活力随饲料胆碱水平的增加呈现先下降后保持稳定的趋势，其中 45.1 mg/kg 组血清 AST、ALT 活力均显著高于 540.5、946.0、1486.5、1 756.8 mg/kg 组（P＜0.05），540.5、946.0、1 486.5 mg/kg 组之间血清 AST、ALT 活力差异不显著（P＞0.05）。1 486.5 mg/kg 组血清 T-CHO 含量显著高于 45.1、308.9、540.5、946.0 mg/kg 组（P＜0.05），与 1 756.8 mg/kg 组无显著差异（P＞0.05），308.9、540.549、

946.0 mg/kg 组之间差异不显著（P＞0.05）。血清 TG 含量以 1 486.5 mg/kg 组最高，显著高于 45.1、308.9、540.5、946.0、1 756.8mg/kg 组（P＜0.05），45.1、308.9、540.5 mg/kg 组之间无显著差异（P＞0.05）。

如图 2 所示，大规格吉富罗非鱼幼鱼肝胰脏胆碱蓄积量随饲料胆碱水平的增加呈现先上升后稳定的趋势，45.1 mg/kg 组肝胰脏胆碱蓄积量低于其他各组。以肝胰脏胆碱蓄积量为评价指标时，满足大规格吉富罗非鱼幼鱼需要的饲料胆碱水平为 1 118.61 mg/kg。

表 4　饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼血清生化指标的影响

Table 4　Effects of dietary choline level on serum biochemical indexes of large size juvenile GIFT（*Oreochromisniloticus*）

项目 Items	饲料胆碱水平 Dietary choline level/(mg/kg)					
	45.1	308.9	540.5	946.0	1 486.5	1 756.8
总胆固醇 T-CHO/（mmol/L）	3.37±0.06^{a}	3.82±0.26^{b}	3.99±0.11^{b}	4.05±0.29^{b}	4.70±0.13^{c}	4.46±0.22^{c}
甘油三酯 TG/（mmol/L）	3.00±0.16^{a}	3.04±0.09^{a}	3.28±0.28^{ab}	3.37±0.18^{b}	4.60±0.17^{d}	3.84±0.10^{c}
总蛋白 TP/（g/L）	29.50±2.56	31.50±3.25	31.00±2.93	28.50±2.45	31.63±2.92	30.50±4.44
葡萄糖 GLU/（mmol/L）	5.26±0.20	5.19±0.23	5.31±0.29	5.26±0.16	5.28±0.41	5.35±0.24
谷草转氨酶 AST/（U/L）	70.13±2.10^{a}	65.63±5.07^{ab}	60.38±5.04^{bc}	54.88±3.87^{cd}	55.00±3.38^{cd}	53.50±3.59^{d}
谷丙转氨酶 ALT/（U/L）	23.75±2.43^{a}	20.63±2.07^{b}	18.50±1.60^{bc}	18.38±1.60^{bc}	15.75±2.05^{c}	12.50±1.07^{d}

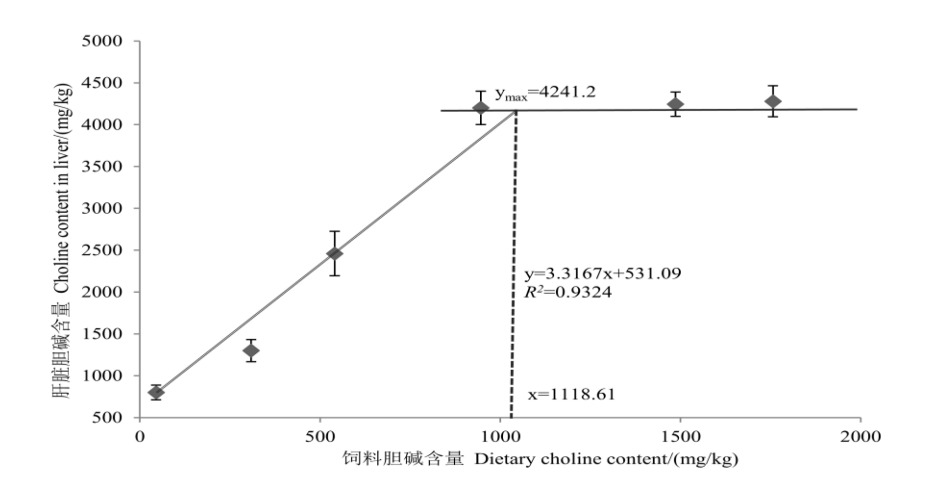


图 2 饲料胆碱水平对吉富罗非鱼肝胰脏胆碱蓄积量的影响

Fig.2 Effects of dietary choline level on hepatopancreas choline accumulation of GIFT

（*Oreochromisniloticus*）

3 讨论

3.1 饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼生长性能的影响

本试验中，投喂添加适量胆碱饲料的试验鱼，其增重率、饲料效率与肥满度均有不同程度提高，表明饲料添加适量的胆碱对罗非鱼的生长是有利的，这一结果与帅继祥等[16]在星斑川鲽（*Platichthysstellatus*）、陈芳等[17]在黄鳝（*Monopterusalbus*）、王道尊等[18]在草鱼（*Ctenopharyngodonidellus*）和 Jiang 等[19]在团头鲂（*Megalobramaamblycephala*）上的研究结果相似。而 Shiau 等[9]发现，当饲料胆碱添加量超过 800 mg/kg 时，奥尼罗非鱼幼鱼增重率出现下降的趋势；Duan 等[20]发现，当饲料胆碱添加量超过 4 400.44 mg/kg 时，异育银鲫（*Carassiusauratusgibelio*）的特定生长率也有下降趋势。但帅继祥等[16]发现，当饲料胆碱添加量低于 1 160.99 mg/kg 时，星斑川鲽幼鱼的增重率显著低于其余各组；邵辉等[12]发现，当饲料胆碱添加量低于 375.04 mg/kg 时，吉富罗非鱼成鱼的增重率显著低于其余各组；Twibell 等[5]也发现，当饲料胆碱添加量低于 230 mg/kg 时，黄金鲈幼鱼的增重率显著低于其余各组。这进一步表明饲料中适量添加胆碱有利于鱼体生长，而当饲料胆碱添加不足或添加过量则会影响其他物质的代谢而不利于鱼类正常生长[10]。

本试验以增重率为评价指标，得出初始体重为（57.4±2.5） g 的吉富罗非鱼幼鱼获得最佳生长时，对饲料胆碱的需要量为 625.42 mg/kg。黄凯等[10]以生长性能和血液指标为评价指标，得出初始体重为（0.56±0.04） g 的奥尼罗非鱼，对饲料胆碱的需要量为 2 000～3 000 mg/kg；Shiau 等[9]以增重率为评价指标，得出初始体重为

（0.62±0.01） g 的奥尼罗非鱼，对饲料胆碱的需要量为 1 000 mg/kg；邵辉等[12]以特定生长率为评价指标，得出初始体重为（220.00±8.34） g 的吉富罗非鱼，对饲料胆碱的需要量为 506.43 mg/kg。以上结果与本试验结果不相一致，其原因可能与试验用鱼的规格、生长阶段不同有关。鱼的生长阶段不同，对胆碱的需要量也不同；幼鱼期由于代谢快、生长快，因而对维生素的需要量高于成鱼[21]。此外，造成结果差异的原因也可能与饲料含硫氨基酸、甲基供体物质、甜菜碱与胆碱代谢存在着交互作用，导致鱼类胆碱需要量相异有关[9]。

3.2 饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼全鱼、肝胰脏和肌肉常规成分的影响

本试验中，随饲料胆碱水平的增加，全鱼粗蛋白质与粗灰分含量差异不显著，水分与粗脂肪含量则差异显著，这与星斑川鲽[16]、异育银鲫（*Carassiusauratusgibelio*）[20]、军曹鱼（*Rachycentroncanadum*）[22]和吉富罗非鱼[12]等的研究结果不一致。但有研究表明，饲料添加 1 216 mg/kg 胆碱显著提高黄金鲈鱼全鱼脂肪含量[5]，而添加 4 000 mg/kg 氯化胆碱则显著降低草鱼全鱼脂肪含量[18]。肌肉是鱼体重要的脂肪沉积部位[22]，研究发现，胆碱能够降低黄鳝[24]、草鱼[25]肌肉中脂肪含量。而本试验中，肌肉粗脂肪含量随饲料胆碱水平的增加而增加，这与星斑川鲽[16]、军曹鱼[22]和中华鲟[26]（*Acipensersinensis*）等的研究结果较为一致。

肝脏脂肪含量通常被看作评价鱼类胆碱营养的指标[16]。有关草鱼[25]、黄鳝[24]、斑点叉尾鮰[3]与奥尼罗非鱼[10]等的研究表明，肝脏脂肪含量随饲料胆碱水平的增加而呈现下降的趋势。本试验中，试验鱼肝胰脏粗脂肪含量随饲料胆碱水平的增加呈现下降的趋势，说明饲料中添加适量的胆碱可以有效降低肝胰脏脂肪含量，防止脂肪在肝胰脏中的过度蓄积，避免脂肪肝的形成[10]。但在黄金鲈鱼[5]与虹鳟[27]（*Oncorhynchusmykiss*）上的研究发现肝脏脂肪含量则不受饲料胆碱添加量的影响，而在美国红鱼[28]（*Sciaaenopsocellatus*）与中华鲟[26]等上研究则发现肝脏脂肪含量与饲料胆碱水平呈正相关。

3.3 饲料胆碱水平对大规格吉富罗非鱼幼鱼血清生化指标及肝胰脏胆碱蓄积量的影响

血液中的脂类（血脂）包括 TG、T-CHO 和游离脂肪酸等，虽然血脂只占全身脂类总量相当少的一部分，但血脂可以转运于机体各组织之间，从而反映出机体内脂类代谢状况[29]。饲料胆碱水平不足时会使合成脂蛋白的原料——磷脂酰胆碱合成量不足，进而引起肝脏脂蛋白合成减少，从而影响脂肪向血液中转运，最终导致脂肪积累和向血液运输的脂肪减少[18]。本试验结果显示，随饲料胆碱水平的增加，肝胰脏粗脂肪含量下降，而血清 TG 与 T-CHO 含量升高，这与吉富罗非鱼[12]、草鱼[18]、奥尼罗非鱼[9]及星斑川鲽[16]等研究结果一致，说明饲料胆碱降低肝脏脂肪含量是通过直接或间接参与肝脏脂肪运输来实现的[10]。

AST和ALT是广泛存在于动物组织细胞线粒体内的重要转氨酶，是反映肝细胞受损伤的主要依据之一[30]。正常情况下的动物体，血清中这2种酶的活力往往较低；当组织异常时会引起细胞膜通透性增加，或当损伤组织部

位较大时会引起细胞主动转运体系发生障碍，或细胞解体时，细胞内大量AST和ALT渗入血液，从而使肝脏等组织中转氨酶活力降低，而血液中转氨酶活力则相应升高[31-32]。本试验中，随饲料胆碱水平的增加，试验鱼血清AST和ALT活力均持续下降，与星斑川鲽[16]、中华绒螯蟹[33]（*Eriocheirsinensis*）等的研究结果一致，表明饲料胆碱水平的适量增加能够减轻肝细胞损伤[10]。

鱼类对胆碱需要量的确定，一般以肝脏胆碱蓄积量、肝脏脂肪含量以及生长性能等指标作为评定标准[25]。在本试验中，试验鱼肝胰脏胆碱蓄积量随饲料胆碱水平的增加而增加，但当试验鱼摄食饲料胆碱水平超过 1 118.61 mg/kg 时，肝胰脏胆碱蓄积量则趋于稳定，这与斑点叉尾鮰[33]和军曹鱼[21]等的研究结果类似。根据饲料胆碱水平与肝胰脏胆碱蓄积量的关系，经回归分析得出大规格吉富罗非鱼幼鱼肝胰脏胆碱蓄积量最大时，其对饲料胆碱的需要量为 1 118.61 mg/kg，以增重率为评价指标时的需要量为 625.42 mg/kg。由此可知，与生长相比较，大规格吉富罗非鱼需要更多的胆碱来维持机体的特定生理功能，该结果与在团头鲂[19]、异育银鲫[20]和军曹鱼[22]上的研究发现相一致。

4　结论

在本试验条件下，饲料中添加胆碱可以提高大规格吉富罗非鱼幼鱼的生长性能，改善饲料利用效率，其获得最佳生长时对饲料中胆碱的需要量为625.42 mg/kg；而以肝胰脏胆碱蓄积量为评价指标时，其对饲料中胆碱的需要量为1 118.61 mg/kg。

参考文献：

[1] NRC.Nutrient requirements of fish and shrimp[S].Washington,D.C.:National Academics Press,2011.

[2] GRIFFIN M E,WILSO K A,WHITE M R,etal.Dietary choline requirement of juvenile hybrid striped bass[J].The Journal of Nutrition,1994,124(9):1685–1689.

[3] WILSON R P,POE W E.Choline nutrition of fingerling channel catfish[J].Aquaculture,1988,68(1):65–71.

[4] OGINO C B.Vitamin requirement of carp 4:requirement for choline[J].Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries,1970,36:1140–1146.

[5]TWIBELL R G,BROWN P B.Dietary choline requirement of juvenile yellow perch (*Perca flavescens*)[J].The Journal of Nutrition,2000,130(1):95–99.

[6] KETOLA H G.Choline metabolism and nutritional requirement of lake trout (*Salvelinus namaycush*)[J].Journal of Animal Science,1976,43(2):474–477.

[7] 强俊,杨弘,王辉,等.饲料蛋白水平对低温应激下吉富罗非鱼血清生化指标和*HSP*70mRNA表达的影响[J].水生生物学报,2013,37(3):434–443.

[8] 冷向军.浅谈我国的水产饲料行业标准[J].饲料工业,2009,30(10):55–58.

[9] SHIAU S Y,LO P S.Dietary choline requirements of juvenile hybrid tilapia,*Oreochromis niloticus*×*O.aureus*[J].The Journal of Nutrition,2000,130(1):100–103.

[10] 黄凯,杨鸿昆,甘晖,等.饲料中添加胆碱预防罗非鱼脂肪肝病变的作用[J].中国水产科学,2007,14(2):257–262.

[11] KASPER C S,WHITE M R,BROWN P B.Choline is required by tilapia when methionine is not in excess[J].The Journal of Nutrition,2000,130(2):238–242.

[12] 邵辉,文华,刘伟,等.吉富罗非鱼成鱼胆碱的最适需要量[J].中国水产科学,2013,20(5):1007–1014.

[13] TENDENCIA E A,FERMIN A C,DELA PEÑA M R,etal.Effect of *Epinephelus coioides*,*Chanos chanos*,and GIFT tilapia in polyculture with*Penaeus monodon* on the growth of the luminous bacteria *Vibrio harveyi*[J].Aquaculture,2006,253(1/2/3/4):48–56.

[14] 蒋明,姚鹰飞,文华,等.吉富罗非鱼成鱼对饲料中有效磷的需要量[J].水产学报,2013,37(11):1725–1732.

[15] VENUGOPAL P B.Choline[M]//AUGUSTIN J,KLEIN B P,BECKER D,etal.Methods of vitamin assay.NewYork,NY:John Wiley and Sons Inc.,1985.

[16] 帅继祥,张利民,王际英,等.星斑川鲽幼鱼胆碱需求量的研究[J].水生生物学报,2011,35(2):365–371.

[17] 陈芳,杨代勤,阮国良,等.黄鳝对饲料中胆碱的需要量[J].大连水产学院学报,2004,19(4):268–270.

[18] 王道尊,赵亮,谭玉钧.草鱼鱼种对胆碱需要量的研究[J].水产学报,1995,19(2):133–138.

[19] JIANG G Z,WANG M,LIU W B,etal.Dietary choline requirement for juvenile blunt snout bream,*Megalobrama amblycephala*[J].Aquaculture Nutrition,2013,19(4):499–505.

[20] DUAN Y H,ZHU X M,HAN D,etal.Dietary choline requirement in slight methionine-deficient diet for juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*)[J].Aquaculture Nutrition,2012,18(6):620–627.

[21] 麦康森.水产动物营养与饲料学[M].北京:中国农业出版社,2011:116–117.

[22] MAI K S,XIAO L D,AI Q H,etal.Dietarycholine requirement for juvenile cobia,*Rachycentron canadum*[J].Aquaculture,2009,289(1/2):124–128.

[23] DING L Y,ZHANG L M,WANG J Y,etal.Effect of dietary lipid level on the growth performance,feedutilization,body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichys stellatus*)[J].Aquaculture Research,2010,41(10):1470–1478.

[24] 杨代勤,陈芳,阮国良.饲料中添加胆碱对黄鳝生长、组织脂肪含量及消化酶活性的影响[J].水产学报,2006,30(5):676 –682.

[25] 朱瑞俊,李小勤,谢骏,等.饲料中添加氯化胆碱对草鱼成鱼生长、脂肪沉积和脂肪代谢酶活性的影响[J].中国水产科学,2010,17(3):527–535.

[26] 刘伟,文华,周俊,等.氯化胆碱对中华鲟幼鱼生长和生理指标的影响[J].水利渔业,2007,27(3):91–93.

[27] RUMSEY G L.Choline-betaine requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J].Aquaculture,1991,95(1/2):107–116.

[28] CRAIG S R,GATLIN D M Ⅲ.Dietary choline requirement of juvenile red drum (*Sciaaenops ocellatus*)[J].The Journal of Nutrition,1996,126(6):1696–1700.

[29] HIRAOKA Y,NAKAGAWA H,MURACHI S.Blood properties of rainbow trout in acute hepatotoxity by carbontetrachloride[J].Bulletin of the Japanese society of Fisheries Oceanography,1979,45(4):527–532.

[30] 康格菲.临床生物化学[M].北京:人民卫生出版社,1989:73–96.

[31] 高露姣,施兆鸿,艾春香.不同脂肪源对施氏鲟幼鱼血清生化指标的影响[J].海洋渔业,2005,27(4):319–323.

[32] 惠天朝,施明华,朱荫湄.硒对罗非鱼慢性镉中毒肝抗氧化酶及转氨酶的影响[J].中国兽医学报,2000,20(3):264–266.

[33] 齐霁,陈立侨,孙盛明,等.不同磷脂水平下中华绒螯蟹幼蟹的胆碱需要量[J].中国水产科学,2013,20(2):372–380.

[34] ZHANG Z,WILSON R P.Reevaluation of the choline requirement of fingerling channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and determination of the availability of choline in common feed ingredients[J].Aquaculture,1999,180(1/2):89–98.

Dietary Choline Requirement of Large Size Juvenile Genetically Improved Farmed Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

WU Jinping LIU Wei JIANG Ming WEN Hua* WU Fan TIAN Juan YANG Changgeng

（*Yangtze River Fisheries Research Institute*, *Chinese Academy of Fishery Sciences*, *Wuhan* 430223, *China*）

*Corresponding author, professor, E-mail: wenhua.hb@163.com

（责任编辑　菅景颖）

Abstract: The present study was conducted to determine the effects of dietary choline level on the growth performance, body composition, hepatopancreas choline accumulation and serum biochemical indexes of large size juvenile genetically improved farmed tilapia (GIFT, *Oreochromisniloticus*), in order to determine the dietary choline requirement of large size juvenile GIFT. Six experimental diets were prepared with choline level was 45.1, 308.9, 540.5, 946.0, 1 486.5 and 1 756.8 mg/kg, respectively, and large size juvenile GIFT with the average body weight of (57.4±2.5) g were fed the 6 kinds of diets for 10 weeks. Each diet was randomly fed four pond cage, and each pond cage had 20 fish. The results showed that weight gain rate (WGR) and feed efficiency (FE) in the groups of dietary choline level was equal or more than 308.9 mg/kg were significantly higher than those in 45.1 mg/kg group ($P<0.05$). Hepatosomatic index (HSI) and condition factor (CF) in 1 486.5 mg/kg group seemed to be the highest, and were significantly higher than those in 45.1 mg/kg group ($P<0.05$). Viscerosomatic index （VSI） in 1 486.5 mg/kg group seemed to be the lowest, and was significantly lower than that in other groups except 1 756.8 mg/kg group ($P<0.05$). Whole body crude lipid content in 1 756.8 mg/kg group was significantly lower than that in 946.0 mg/kg group ($P<0.05$). With the increase of dietary choline level, the hepatopancreas crude lipid content showed a trend of decreasing firstly and then stabilized, while the contents of crude lipid and crude protein in muscle showed a trend of increasing firstly and then stabilized.

血清 AST、ALT 活力随饲料胆碱水平的增加呈现先下降后稳定的趋势，其中 45.1 mg/kg 组血清 AST、ALT 活力均显著高于 540.5、946.0、1486.5、1 756.8 mg/kg 组（P＜0.05）。肝胰脏胆碱蓄积量随饲料胆碱水平的增加呈现先上升后稳定的趋势。

Serum total cholesterol (T-CHO) and triglyceride (TG) contents showed a rising tendency with increasing dietary choline level, and which in the groups of dietary choline level was equal or more than 946.0 mg/kg were significantly higher than those in 45.1 mg/kg group ($P<0.05$). Serum alanine aminotransferase (ALT) and aspartate transaminase (AST) activities showed a descending trend firstly and then stabilized with increasing dietary choline level, and seemed to be the lowest in 1 756.8 mg/kg group. No significant differences in serum total protein (TP) and glucose (GLU) contents were found among the groups (P＞0.05). Hepatopancreas choline accumulation showed a trend of increasing firstly and then stabilized with increasing dietary choline level. Base on the WGR as the evaluation index, large size juvenile GIFT demand for 625.42 mg/kg dietary choline to obtain the best growth, and demand for 1 118.61 mg/kg dietary choline to obtain the highest hepatopancreas choline accumulation base on the hepatopancreas choline accumulation as the

evaluation index.

Key words: large size; juvenile GIFT; choline; growth performance; requirement